



УДК 621.382

И. А. Мартынов

АО «РНИИ „Электронстандарт“» (Санкт-Петербург)

Измерение теплового сопротивления кристалл–корпус микросхем и полупроводниковых приборов с использованием тепловизора

Реализована методика измерения теплового сопротивления кристалл–корпус микросхем и полупроводниковых приборов, основанная на получении термограмм функционирующих кристаллов микросхем без крышки корпуса при стабилизированной температуре корпуса. Для двух исследованных образцов микросхем памяти 1658PУ1У получены значения теплового сопротивления 4.4 и 4.8 °С/Вт. Анализируются достоинства и недостатки данной методики.

Тепловое сопротивление, термограмма, тепловизор, ПИД-регулирование, микросхема памяти

Контроль теплового сопротивления кристалл–корпус является важным этапом создания интегральных микросхем (ИМС) и полупроводниковых приборов, предназначенных для эксплуатации в составе высоконадежной аппаратуры аэрокосмического применения. В условиях микрогравитации, являющейся характерной особенностью эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры космического назначения, основным физическим механизмом, обеспечивающим охлаждение электронных компонентов, является теплопроводность.

Для выполнения неразрушающей дефектоскопии в широком спектре технических приложений используются тепловизоры [1]–[3].

В Советском Союзе большое внимание уделялось неразрушающим методам контроля изделий микроэлектроники, в том числе и с использованием тепловизионной аппаратуры [4]–[6]. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, проводившиеся в АО «РНИИ „Электронстандарт“», привели к созданию таких приборов тепловизионного контроля, как 14КИ1-001, ИКАР-1, ИКР-3, 14ЭП300-021. Закономерным результатом отечественных научно-технических изысканий тех лет явилось создание нормативных докумен-

тов¹, регламентирующих как методы неразрушающего диагностического контроля полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники, так и измерения теплового сопротивления.

Измерение теплового сопротивления кристалл–корпус с использованием тепловизора позволяет обнаружить области наибольшего разогрева кристалла, которые могут быть следствием неверных схемотехнических, конструктивных или технологических решений данного изделия, а также возможных технологических ошибок в процессе его изготовления.

Картины распределения температурного поля по поверхности кристалла, полученные с помощью тепловизора, могут быть использованы при оценке надежности изделий исследуемого типа, а также при конструкторско-технологической обработке их производства [5].

Эксперимент. В работе реализована методика измерения теплового сопротивления кристалл–корпус ИМС и полупроводниковых приборов на

¹ РД 11 0929–94. Приборы полупроводниковые. Контроль неразрушающий. Методы диагностического контроля; ОСТ 11 0944–96. Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы расчета, измерения и контроля теплового сопротивления.

примере двух образцов микросхем статического оперативного запоминающего устройства 1658PУ1У емкостью 8 Кбит 8-разрядных слов². Измерения выполнялись при температуре корпуса микросхемы 125 °С, находящейся в режиме функционирования. Перед проведением эксперимента крышки металлокерамических корпусов обеих микросхем были удалены механическим способом.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Для обеспечения заданной температуры корпуса микросхемы служит термостат, представляющий собой медную плиту 1 размерами 400 × 400 × 30 мм, помещенную в термозащитный кожух для безопасного с ней обращения. Источниками тепловой энергии служат четыре трубчатых нагревательных элемента 2 суммарной мощностью 2 кВт, питающиеся от сети переменного тока 220 В 50 Гц.

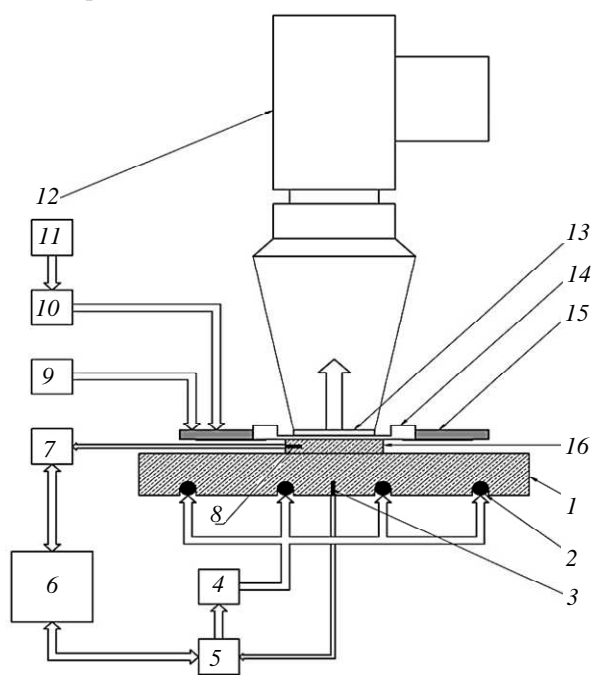


Рис. 1

Управление работой нагревательных элементов осуществляется посредством использования тиристорного коммутатора 4 на основе микросхемы МОС3082, которая является опторазвязанным драйвером для управления тиристорными и симисторными структурами, имеющим встроенный детектор перехода коммутируемого сетевого напряжения через ноль, что снижает уровень коммутационных помех. Силовая часть коммутатора выполнена на тиристорах Т25-7-652 отечественного производства.

Измерение температуры плиты осуществляется с помощью платинового термометра сопротивления 3 MR828 типа Pt100.

С целью стабилизации температуры плиты использован температурный контроллер 5 ТЕРМОДАТ-13КХ3/2УВ/2Т/2Р/485. Данный температурный контроллер представляет собой независимый двухканальный регулятор температуры, способный работать как в релейном режиме, так и в качестве ПИД-регулятора. В данной работе используется только один канал регулирования температуры, второй канал зарезервирован для будущего использования. Теоретические основы функционирования классических (аналоговых) ПИД-регуляторов можно найти в [8].

Для поиска пропорционального, интегрального и дифференциального коэффициентов регулятора с целью его настройки был применен метод Зиглера–Николсона, различные варианты которого представлены в [8].

Для автоматизированного периодического измерения температуры медной плиты и программного-управляемого изменения режимов работы температурный контроллер имеет интерфейс RS485, который со стороны персонального компьютера обеспечивается посредством использования преобразователя интерфейсов RS482/USB типа «Болид», имеющего гальваническую развязку. Измеренные значения температуры передаются на персональный компьютер 6 типа IBM PC с находящимся на нем специализированным программным обеспечением, разработанным в среде графического программирования LabVIEW, с помощью которого осуществляется сохранение измеренных значений температуры и вычисление коэффициентов регулятора.

Исследуемая микросхема после удаления крышки корпуса 14 распаивается на печатной плате 15, имеющей прямоугольный вырез под корпус микросхемы и обеспечивающей поступление на нее напряжений питания (от источника питания 9) и сигналов. Тепловой контакт между нижней частью корпуса микросхемы и медной плитой осуществляется с помощью медной прокладки 16, в которую встроен платиновый термометр сопротивления 8 MR828, сопротивление которого измеряется по четырехпроводной схеме с помощью мультиметра 7 Keithley 2002, связанного с персональным компьютером по интерфейсу GPIB. Микросхема, распаянная на печатной плате, через прокладку прижимается к медной

² Микросхема интегральная АЕЯР.431220.825 ТУ. Микросхема интегральная 1658PУ1У.

плите с помощью фиксирующего устройства (на схеме условно не показано). Для уменьшения теплового сопротивления на границах раздела корпус микросхемы–медная проставка и медная проставка–термостатированная плата была использована теплопроводящая паста КПТ-8.

С целью обеспечения функционирования микросхемы 1658PY1Y создан конечный автомат 10, выполненный на основе ПЛИС EP2C5T144C8N семейства Cyclone II фирмы «Altera» и использован источник сигналов тактовой синхронизации 11, в роли которого выступает генератор Г5-78. Под динамическим режимом подразумевается непрерывная последовательная запись во все ячейки памяти нулей и единиц.

Картины распределения температурного поля по поверхности кристалла микросхемы были получены с использованием тепловизора 12 H2640D. Для температурной калибровки использовался платиновый термометр сопротивления M222 (на рис. 1 условно не показан), конструктивно выполненный на керамической подложке, который на время калибровки прижимался к кристаллу исследуемой микросхемы с помощью плоской пружины (на рис. 1 условно не показана), крепящейся к печатной плате.

Результаты и их обсуждение. Термограмма верхней поверхности кристалла одной из микросхем представлена на рис. 2. Термограмма кристалла второй микросхемы аналогична.

Анализ файла термограммы показал отсутствие областей локального перегрева кристалла, что может указывать на однородность посадки кристалла к кристаллодержателю, отсутствие полостей в соединительном материале.

Числовое значение теплового сопротивления кристалл–корпус дается выражением [9]

$$R_T = \frac{T_{\text{крист}} - T_{\text{корп}}}{P},$$

где $T_{\text{крист}}$ – температура кристалла, $T_{\text{корп}}$ – температура корпуса; P – электрическая мощность, потребляемая микросхемой от источника питания 9, в роли которого выступает калибратор-мультиметр «Keithley 2420», имеющий возможность измерения тока потребления при питании нагрузки постоянным напряжением.

Произведение напряжения питания на ток, потребляемый микросхемой в динамическом режиме, дает электрическую мощность, необходимую для вычисления теплового сопротивления.

За температуру кристалла принималась температура в наиболее нагретой точке верхней поверхности кристалла.

По результатам измерения термограмм и токов потребления исследованных микросхем были вычислены их тепловые сопротивления кристалл–корпус, равные 4.4 и 4.8 °C/Вт соответственно. Полученные результаты³ не противоречат справочному значению теплового сопротивления, равному 12.4 °C/Вт. Отметим, что полученные значения сопоставимы с таковыми, приводимыми, например, фирмой «Aeroflex microelectronics solutions» для сопоставимых микросхем аналогичного назначения (5 или 10 °C/Вт в зависимости от микросхем конкретного типа). Вычисленные значения могут быть использованы при прогнозировании надежности микросхем 1658PY1Y, а также конструкторско-технологической обработке их производства.

Достоинством созданной экспериментальной установки является возможность наглядного контроля теплового сопротивления кристалл–корпус исследуемых микросхем и полупроводниковых приборов в диапазоне температур корпуса от комнатной до +180 °C в режиме функционирования. Реализация конечного автомата на основе программируемой логики позволяет гибко изменять алгоритм функционирования исследуемых микросхем.

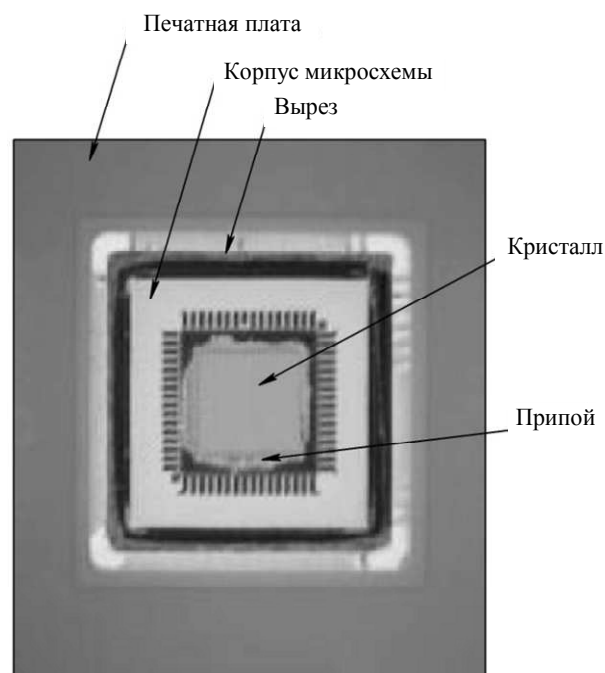


Рис. 2

³ Микросхема интегральная АЕЯР.431220.825 ТУ. Микросхема интегральная 1658PY1Y. С. 51.

Недостатком метода является необходимость вскрытия корпусов исследуемых микросхем и полупроводниковых приборов.

В работе реализована методика измерения теплового сопротивления кристалл–корпус интегральных микросхем и полупроводниковых приборов на примере исследования ИМС памяти 1658PY1Y. Методика основана на измерении с помощью тепловизора термограммы излучения кристалла изделия, функционирующего при стабилизированной температуре корпуса +125 °С в отсутствие крышки корпуса. Отмечено отсутствие областей локального перегрева кристаллов исследованных микросхем. Созданная установка может быть использована для исследования не только ИМС и полупроводниковых приборов, но и теплонагруженных радиоэлектрон-

ных модулей, таких как источники вторичного электропитания и усилители мощности. Измеренные термограммы могут быть использованы при оценке надежности изделий исследуемого типа, а также при конструкторско-технологической отработке их производства.

Автор выражает благодарность Виктору Григорьевичу Мельникову, начальнику лаборатории проведения отбраковочных испытаний электронной компонентной базы отечественного производства АО «РНИИ „Электронстандарт“», являющемуся идейным вдохновителем настоящей работы, за плодотворные консультации, ценные замечания и редактирование статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М.: Мир, 1988.
2. Вавилов В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: Спектр, 2009.
3. Нестерук Д. А., Вавилов В. П. Тепловой контроль и диагностика: учеб. пособие для подготовки специалистов I, II, III уровней. Томск, 2007.
4. Вавилов В. П. Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий радиоэлектроники. М.: Радио и связь, 1984.
5. Концевой Ю. А., Кудин В. Д. Методы контроля технологии производства полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1973.

6. Данилин Н. С., Бакланов О. Д., Загоровский Ю. И. Теория и методы неразрушающего инфракрасного контроля радиоэлектронных схем. М.: Изд-во МО СССР, 1974.
7. Никулин Е. А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
8. Зорин С. В. ПИД-закон регулирования. Методы нахождения ПИД-коэффициентов. С. 4–5. URL: <http://termodat.ru/pdf/pid.pdf>.
9. Аронов В. Л., Федотов Я. А. Испытание и исследование полупроводниковых приборов. М.: Высш. шк., 1975.

I. A. Martynov

JSC «RRI „Electronstandart“» (Saint Petersburg)

DIE-CASE THERMAL RESISTANCE OF ICs AND SEMICONDUCTOR DEVICES MEASUREMENTS WITH THERMAL IMAGE CAMERA

The method for determining die-case thermal resistance for ICs and semiconductor device's based on obtaining thermal images of die decapsulated still in its package at stabilized case temperature is realized. For the two samples of 1658PY1Y memory ICs die-case thermal resistance values equal to 4.4 and 4.8 °C/W have been obtained. Advantages and disadvantages of of this method are analyzed.

Thermal resistance, thermal image, thermal image camera, PID-control, memory IC
